

# PENGARUH MEDIA *QUENCHING* AIR TERSIRKULASI (*CIRCULATED WATER*) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA BAJA AISI 1045

Sri Nugroho<sup>1)</sup>, Gunawan Dwi Haryadi<sup>1)</sup>

## Abstract

*The cooling rate in the heat treatment processes after the austenitization is completely influencing the micro structure and the nature of steel. Quenching is a cooling process which has a high rate of cooling. But quenching that's used to carried out had an insufficiency, which cause lower cooling rate than it supposes can be, it's cause by the formation of an unbroken vapor blanket around the hot specimen. But, to get the martensite phase and the maximum hardness, then the cooling rate that is produced on quenching has to be higher, or at least as same as the critical cooling rate of the steel. Cooling rate, for instance, is determined by the type of steel, the dimension and the size of steel, and the condition of quenchant when quenching is carried out. The aim of this experiment is to check the influences of agited quenchant which used, to the micro structure and hardness of AISI 1045 steel. This experiment also results the determination of specimen size, the making of agited quench installation, and the estimation of cooling time that installation could reach.*

**Key word :** cooling rate, quenching, hardness, martensite

## PENDAHULUAN

### a. Latar Belakang

Metode *quenching* sederhana adalah berupa pencelupan baja yang telah dipanaskan mencapai fasa austenit ke dalam bak berisi media pendingin sehingga panas pada baja terabsorpsi ke media pendingin yang akan menghasilkan peningkatan derajat kekerasan sebagai akibat perubahan struktur mikronya, memiliki beberapa kelemahan. Laju pendinginan yang maksimum tidak akan tercapai dengan metode ini, sehingga tujuan pembentukan baja yang seluruh bagiannya bermikrostruktur martensit (untuk baja karbon rendah) tidak dapat tercapai.

Akibat adanya perpindahan panas dari specimen baja ke media pendingin, maka terjadi pembentukan selubung uap di sekeliling permukaan baja sehingga akan menghambat laju perpindahan panas dari baja ke media pendingin. Untuk specimen yang berdimensi tidak teratur/rumit sangat tidak baik jika dilakukan proses *quench* hanya dengan pencelupan pada media pendinginan, karena cenderung akan terjadi pembentukan lapisan uap pada bagian-bagian tertentu, yang akan mengakibatkan laju pendinginan yang tidak seragam dan terbentuknya struktur mikro yang berbeda pada beberapa bagiannya tersebut.

Untuk mengatasi kendala-kendala yang disebutkan diatas dapat dilakukan dengan beberapa cara. Cara pertama adalah dengan membuat media pendingin pada bak tersirkulasi, atau dengan cara membuat specimen bergerak berputar-putar di dalam bak larutan pendingin. Membuat specimen bergerak berputar-putar di dalam bak media pendingin sangat sulit, terutama jika specimen memiliki dimensi yang besar.

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan perbandingan volume atau berat antara specimen uji (baja AISI 1045) dengan media pendingin (air) dalam pengujian, pengaruh laju aliran sirkulasi (agitasi) terhadap kekerasan dan struktur mikro baja (AISI 1045), dan estimasi waktu pendinginan yang bisa dicapai dari instalasi yang dibuat.

### b. Landasan Teori

#### Baja AISI 1045

Baja karbon AISI 1045 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (0,43 – 0,50 %C berat) yang banyak digunakan dipasaran karena memiliki banyak keunggulan. Baja ini memiliki karakteristik : sifat mampu mesin yang baik, *wear resistance*-nya baik, dan sifat mekaniknya menengah.

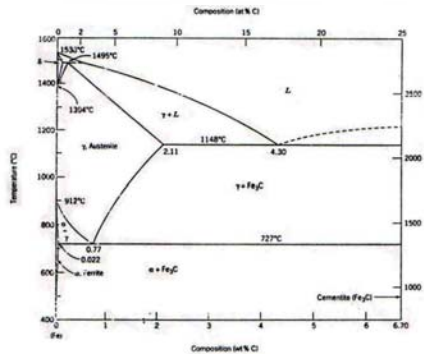
Dengan bantuan diagram fasa yang merupakan landasan untuk perlakuan panas bagi logam, dan diagram fasa besi-karbon diberlakukan untuk baja. Memahami diagram fasa menjadi sebuah tuntutan karena terdapatnya hubungan antara struktur mikro dengan sifat-sifat mekanis suatu material, yang semuanya berhubungan dengan karakteristik diagram fasanya. Diagram fasa juga memberikan informasi penting tentang titik leleh, titik kristalisasi, dan fenomena lainnya.

#### Perlakuan Panas (Heat Treatment)

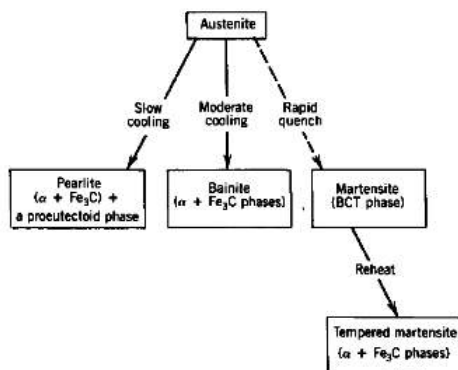
Perlakuan panas diberikan pada baja untuk menghasilkan sifat-sifat diinginkan dan penggunaannya. Perlakuan panas diawali dengan proses austenisasi (pemanasan hingga temperatur austenit) yang kemudian disusul pendinginan dengan beragam kecepatan pendinginannya, yang akan menghasilkan fasa akhir yang terbentuk berbeda-beda. Dengan pendinginan yang lambat, akan terbentuk

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

struktur mikro *coarse pearlite* dan lapisan tipis ferit-ementit. Ditingkatkannya laju pendinginan akan mengurangi ketebalan lamela. Jika ditingkatkan lagi akan membentuk struktur mikro bainit. Laju pendinginan yang sangat cepat akan menghasilkan struktur mikro martensit. Diagram transformasi yang mungkin terjadi melalui dekomposisi austenit ditunjukkan pada Gb. 2.

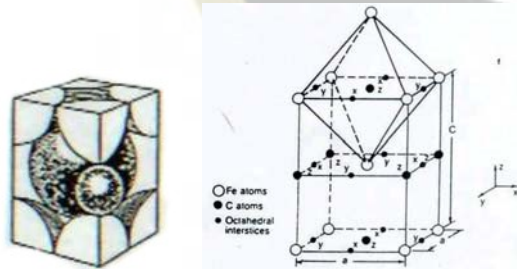


Gambar 1 Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C [ref.2 hal.267]



Gambar 2 Transformasi melalui dekomposisi *austenite*

Anak panah solid menunjukkan bahwa pembentukan melibatkan difusi; anak panah putus-putus merupakan transformasi tanpa difusi. [ref. 2 hal. 315]



Gambar 3 Struktur kristal martensit – *body centered tetragonal* (bct) [ref.7 hal.44]

Transformasi menuju martensit tidak bersifat difusi, sehingga martensit memiliki komposisi yang sama dengan austenit, untuk kadar karbon hingga 2%. Difusi tidak terjadi karena pendinginan yang cepat, karbon tidak terpecah antara sementit dan ferit tetapi

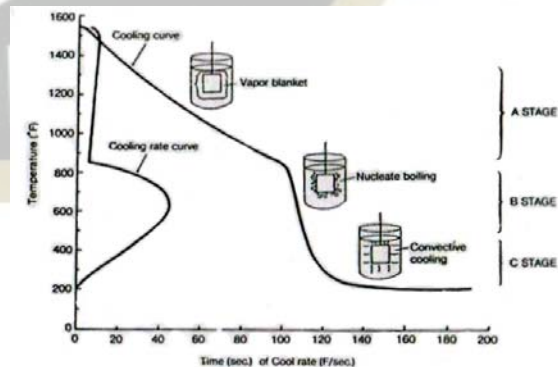
terperangkap pada kondisi *octahedral* dari sebuah struktur *body-centered cubic* (bcc), maka terbentuklah fasa baru yang bernama martensit. Komposisi karbon dalam sebuah struktur bcc pada keadaan martensit lebih baik karena sebagai sebuah *body-centered tetragonal* (bct) (lihat Gb. 3) dimana parameter *c* lebih besar dibandingkan dua parameter *a*. Dengan konsentrasi karbon yang lebih tinggi pada martensit, daerah-daerah *interstitial* dapat terisi, dan ke-*tetragonal*-an meningkat.

## Quenching

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardenability* dari logam. *Hardenability* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

*Quenching* yang dilakukan pada logam spesimen panas (setelah proses austenisasi) pada media pendingin akan mengalami mekanisme pendinginan seperti pada Gb. 4, yang memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Gb. 4 juga menghubungkan temperatur permukaan logam dan waktu yang diperlukan pada mekanisme pelepasan panas. Awal pencelupan, logam pertama kali akan diselubungi oleh selubung uap, yang akan pecah saat logam mendingin. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini.

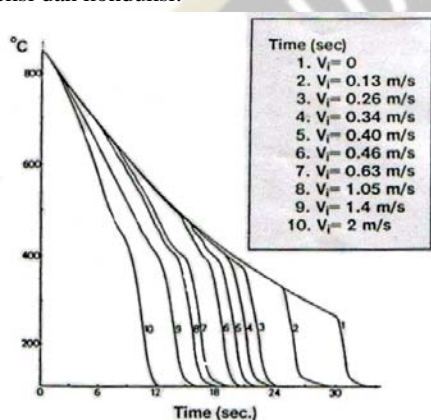
Tahap kedua dari kurva pendinginan dinamakan tahap didih nukleat dan pada tahap ini terjadi perpindahan panas yang cepat karena logam langsung bersentuhan dengan air. Pada tahap ini, logam masih sangat panas dan air akan mendidih dengan hebatnya. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Pada tahap ketiga, merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi, dimana permukaan logam telah bertemperatur dibawah titik didih air. Tahap ini hanya mengalami perpindahan panas melalui konveksi dan konduksi.



Gambar 4 Mekanisme pendinginan, dibagi dalam 3 tahapan [ref.12 hal. 70]



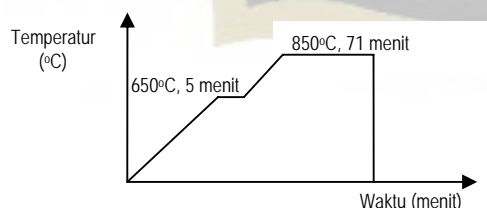
Laju pelepasan panas dari logam yang di-*quench* dapat ditingkatkan menggunakan agitasi, yang akan mengurangi stabilitas dari selubung uap yang menyelubungi permukaan logam selama tahap awal dari *quench*. Efek dari agitasi pada mekanisme pendinginan dari sebuah perak yang di-*quench* dengan medium pendingin air bertemperatur 60°C ditunjukkan pada Gb.5. Aliran air dengan kecepatan  $V_i$  diinjeksikan dari bagian bawah bak media pendingin dan diarahkan ke logam. Semakin besar laju aliran (agitasi), semakin besar temperatur yang dapat dilepas dengan mengurangi kemungkinan terjadinya pembentukan selubung uap namun langsung terjadi didih nukleat karena efektifitas perpindahan panasnya paling baik. Agitasi yang besar juga akan mempercepat pendinginan pada tahap didih nukleat dan pendinginan konveksi dan konduksi.



Gambar 5 Efek agitasi pada kurva pendinginan [ref. 12 hal. 241]

## PROSEDUR PENGUJIAN

Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder pejal dengan panjang 100 cm dan diameternya 30 mm. Spesimen uji dipotong dengan menggunakan gergaji sehingga terbentuk ukuran panjang 10 cm dan diameter 30 mm, kemudian spesimen uji dipanaskan didalam *furnace* yang dilakukan proses *pre-heat* pada 650°C selama 5 menit lalu dipanaskan hingga 850°C dengan waktu penahanan 71 menit yang dimaksudkan supaya menghasilkan struktur mikro austenit yang homogen. Proses perlakuan panas pada penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6 Diagram skematik proses perlakuan panas yang berikan pada spesimen uji

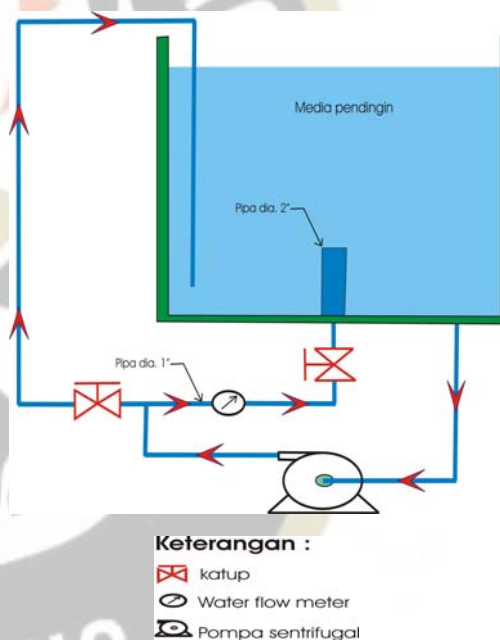
## Pembuatan Instalasi Quenching Agitasi

Setelah melalui tahap studi literatur perancangan instalasi quenching dengan agitasi, maka dapat ditentukan jenis agitasi yang akan digunakan, volume bak penampung, dan bentuk dari keranjang pemegang spesimen uji. Gambar 7 merupakan diagram instalasi *quenching* dengan agitasi yang dibuat pada penelitian ini, dimana terdapat di dalamnya katup sebagai sistem *by pass* untuk bervariasi debit aliran yang masuk ke dalam bak media pendingin.

Sistem *by pass* digunakan karena pompa sentrifugal yang digunakan pada instalasi tidak dapat diatur kecepatan putarannya. Dan media pendingin yang digunakan adalah air.

Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini adalah kecepatan aliran yang menyembur spesimen panas yang dicelup dalam bak penampung media pendingin dengan memanfaatkan bukaan katub *by pass* dan dikodefikasikan pada Tabel 1.

Dengan perhitungan dari dimensi bak yang diketahui, didapatkan volume air yang diisi ke dalam bak sebagai media pendingin sebanyak 91 liter.



Gambar 7 Diagram instalasi quenching dengan agitasi

Tabel 1 Kode spesimen dan jenis perlakuan

Kode Spesimen	Jenis perlakuan
Q <sub>1</sub>	Raw Material
Q <sub>2</sub>	Quenching tanpa agitasi (tanpa aliran) ; $V_i = 0$ m/s
Q <sub>3</sub>	Quenching dengan agitasi katup <i>by pass</i> terbuka penuh ; $V_i = 0,597$ m/s
Q <sub>4</sub>	Quenching dengan agitasi katup <i>by pass</i> terbuka $\frac{1}{4}$ ; $V_i = 0,696$ m/s
Q <sub>5</sub>	Quenching dengan agitasi katup <i>by pass</i> tertutup penuh ; $V_i = 0,833$ m/s

## HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

### Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar makro Vickers, yaitu dengan indenter sebuah intan bersudut  $136^\circ$ , dan menggunakan beban sebesar 30 kgf.

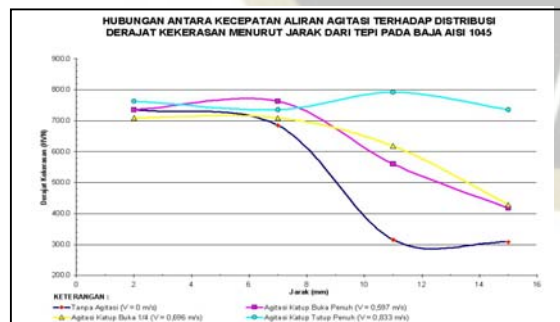
Tabel 2 Derajat kekerasan spesimen uji berdasarkan jarak

Jenis Perlakuan	Jarak dari tepi (mm)			
	2	7	11	15
Q <sub>1</sub>	198,0	198,0	183,9	180,6
Q <sub>2</sub>	735,6	684,9	315,4	308,0
Q <sub>3</sub>	735,6	763,1	560,7	417,6
Q <sub>4</sub>	709,6	709,6	618,1	429,3
Q <sub>5</sub>	763,1	735,6	792,2	735,6

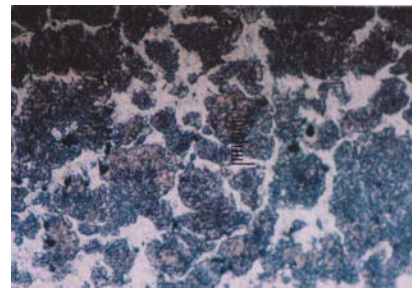
Data dari Tabel 2 dapat disajikan dalam bentuk grafik distribusi kekerasan menurut jarak indentasi pada Gb.8. *Quenching* dengan agitasi memberikan hasil yang lebih sempurna dibuktikan dari Gb. 8.

*Quenching* yang lebih sempurna akan menghasilkan kekerasan yang merata antara bagian tepi, yang terjadi pendinginan maksimum, dengan bagian inti. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengujian besar derajat kekerasan hasil *quenching* untuk setiap besar laju aliran agitasi menurut jarak dari tepi menuju ke tengah (inti) spesimen uji. Pengujian dilakukan mulai dari jarak  $\pm 2$  mm dari tepi hingga  $\pm 15$  mm, inti dari spesimen uji.

Pada spesimen uji bagian 7 dan 15 mm dari tepi untuk Q<sub>2</sub> (*Quenching* tanpa agitasi), kekerasan yang dimilikinya hanya sebesar 315,4 dan 308 HVN. Ada sedikit kejanggalan disini, dimana kekerasannya turun hingga tidak mencapai setengah dari kekerasan permukaannya, yang sebenarnya semua bagian tersebut merupakan permukaan dari spesimen uji. Dengan analisa, hal ini terjadi dikarenakan saat proses pengamplasan dilakukan, pemakanan atau pengikisan spesimen uji terlalu dalam, sehingga tidak benar-benar bagian permukaan spesimen uji. Begitu pula untuk Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>, dan Q<sub>5</sub>. Namun karena Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>, dan Q<sub>5</sub> diberikan kondisi teragitasi, maka kekerasannya lebih merata antara bagian tepi dengan bagian permukaan.



Gambar 8 Grafik hubungan antara kecepatan aliran agitasi terhadap distribusi derajat kekerasan menurut jarak dari tepi pada baja AISI 1045



a



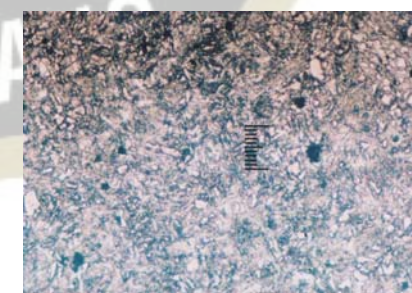
b



c



d



e

Gambar 9 Struktur mikro spesimen uji Q<sub>1</sub> (a), Q<sub>2</sub> (b), Q<sub>3</sub> (c), Q<sub>4</sub> (d), Q<sub>5</sub> (e),  $T_\gamma = 850^\circ\text{C}$ ,  $t_\gamma = 71$  menit dengan pembesaran 500x. Etza  $\text{HNO}_3$



Tabel 3 Pengaruh peningkatan koefisien perpindahan panas konveksi terhadap waktu pendinginan spesimen uji

Kode	$V_i$ (m/s)	$h$ ( $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ )	$t$ (detik)
Q <sub>2</sub>	0	5.316,85	31,58
Q <sub>3</sub>	0,597	10.126,15	25,28
Q <sub>4</sub>	0,696	11.449,84	24,98
Q <sub>5</sub>	0,8,33	13.207,51	24,61

### Struktur Mikro

Setelah proses pengamplasan, *polishing* dan pengetsaan dengan HNO<sub>3</sub> pada spesimen uji baja AISI 1045, struktur mikronya dimanati melalui mikroskop dengan pembesaran 500x. Gambar 9(a) memperlihatkan struktur mikro spesimen uji awal (*raw material*) dari AISI 1045. Struktur mikro pada spesimen raw material merupakan struktur mikro dalam kondisi temperatur kamar dengan keadaan *normalizing*. Sesuai dengan foto struktur mikro acuan dari Referensi, pada kondisi ini spesimen terdiri dari dua fasa, yaitu perlit dan *proeutectoid*  $\alpha$  (ferit *proeutektoid*). Perlite yang berwarna gelap dan *proeutectoid*  $\alpha$  berwarna terang. Perlite sendiri sebenarnya tersusun dari karbida (Fe<sub>3</sub>C) dan *eutectoid*  $\alpha$  (ferit *eutektoid*).

Struktur mikro martensit yang terbentuk dengan semakin meningkatnya laju aliran agitasi semakin baik dan merata. Sebaran struktur mikro dari martensit ditandai dengan bentuk yang acak dan berbentuk seperti jarum berbentuk *lath*. Struktur mikro *eutectoid*  $\alpha$  (ferit *eutektoid*) makin sedikit yang terbentuk, diperkirakan kecepatan pendinginannya jika dilihat dengan bantuan diagram CCT hanya sedikit melewati wilayah pembentukan perlit.

Namun untuk analisa yang lebih lanjut tidak dapat dilakukan karena pembesaran yang dipakai hanya 500x. Pada pembesaran 500x martensit baru dapat terlihat. Untuk analisa yang lebih mikroskop elektron, atau SEM. Struktur mikro yang berbentuk jarum merupakan mendetail sebaiknya digunakan martensit dengan bentuk *lath* karena merupakan baja karbon 0,47% (wt).

### Waktu Pendinginan

Semakin tinggi laju aliran agitasi, maka semakin meningkatnya koefisien perpindahan kalor konveksi. Sehingga waktu pendinginan spesimen panas semakin singkat.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Andhika, C. *Pengaruh normalizing terhadap nilai koefisien pengerasan regang ( $n$ ) dan nilai koefisien anisotropis plastis ( $R$ ) dalam proses pembentukan lembaran baja karbon rendah*. Tugas Akhir, FT UNDIP Semarang, 2003. (Unpublished)
2. Callister, William D. Jr., *An Introduction Materials Science and Engineering* 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1994
3. Degarmo, E. Paul, *Material and Processes in Manufacturing*, McMillan Publishing Co. Inc., New York, 1969
4. Dieter, G. E., *Metalurgi Mekanik*, Jilid I dan II, terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1992
5. Holman, J. P., *Perpindahan Kalor* Edisi Keenam, terjemahan Ir. E. Jasjifi M.Sc., Erlangga, Jakarta, 1988
6. Incropera, Frank P., *Fundamental of Heat and Mass Transfer* 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley and Sons, Inc., Canada, 1990
7. Krauss, G., *STEELS. Heat Treatment and Processing Principles*, ASM International, Material Park, Ohio, 1990
8. Mehl, Robert F. *Metals Handbook* 8<sup>th</sup> edition, Atlas of Micro Structures of Industrial Alloys. ASM Handbook Committee, USA, 1972
9. Parker, Earl R., *Materials Data Book For Engineers and Scientists*, McGraw-Hill, Inc., USA, 1967
10. RAJAN, T.V., *Heat Treatment Principles and Techniques*, Prentice-Hall of India, New Delhi-India, 1997
11. Smith, William F., *Principles of Materials Science and Engineering*, McGraw-Hill, Inc., USA, 1996
12. Totten, G.E., *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*, ASM International, USA, 1995
13. Van Vlack, L. H., *Ilmu dan Teknologi Bahan*, terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1992
14. Wever, F. & Rose, A., *Atlas Zur Warmbehandlung der Stahle*, Max Planck Institute, Dusseldorf, 1958
15. [www.efunda.com](http://www.efunda.com) Carbon Steel AISI 1045
16. [www.Key-to-Steel.com](http://www.Key-to-Steel.com) Quench hardening of steel
17. [www.sentry.com](http://www.sentry.com) Quench System for Oil or Water